

**IMPLEMENTACIÓN ANALÍTICA Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LA
DIRECTIVA 2001/85/CE ANEXO 4. RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA
A UNA SECCIÓN DEFINIDA DE LA CARROCERÍA BUSSTAR 360 DE LA
EMPRESA BUSSCAR DE COLOMBIA S.A.S.**

**ANDRES FELIPE VELEZ RODAS
VICTOR DANIEL PEÑA FLOREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA**

2018

**IMPLEMENTACIÓN ANALÍTICA Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LA
DIRECTIVA 2001/85/CE ANEXO 4. RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA
A UNA SECCIÓN DEFINIDA DE LA CARROCERÍA BUSSTAR 360 DE LA
EMPRESA BUSSCAR DE COLOMBIA S.A.S.**

*Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de INGENIERO
MECÁNICO*

ANDRES FELIPE VELEZ RODAS

COD. 9868327

VICTOR DANIEL PEÑA FLOREZ

COD. 4520723

Director

ING. CARLOS ANDRÉS MEZA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL DIRECTOR

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	5
1.1	INTRODUCCION	5
1.2	GENERALIDADES E IMPORTANCIA DE LA PRUEBA	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4	OBJETIVOS	7
1.5	ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACION	8
2	ASPECTOS GENERALES SOBRE LA INVESTIGACION	9
2.1	MARCO TEORICO	9
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	17
3	METODOLOGIA Y EXPERIMENTO.....	26
3.1	PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE ENSAYO.	26
3.2	PROCEDIMIENTO Y PROCESO DEL ENSAYO	27
3.3	METODOLOGÍA.....	28
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	43
5.	CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES	48
5.1	CONCLUSIONES	48
5.2	APORTES	49
5.3	RECOMENDACIONES	49
6.	BIBLIOGRAFIA	51

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.1 INTRODUCCION

Este trabajo de investigación denominado: “Implementación analítica y validación experimental de la directiva 2001/85/CE anexo 4. Resistencia de la superestructura a una sección definida de la carrocería Busstar 360 de la empresa Busscar de Colombia S.A.S.” es de gran importancia para las fábricas de autobuses del país especialmente para Busscar de Colombia S.A.S. empresa en la que se realizó el presente estudio.

Se contó con el apoyo de la empresa, para aplicar los instrumentos de investigación, se realizó la recopilación de datos de la superestructura del autobús, se investigaron y analizaron los posibles comportamientos de la sección de la superestructura en el caso de sufrir un vuelco, la cual debe garantizar el espacio de supervivencia descrito en la Directiva 2001/85/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea.

Este proyecto se basa en la ejecución del ensayo de vuelco en una sección de la superestructura del Autobús 360 de servicio intermunicipal fabricado por Busscar de Colombia S.A.S. para determinar si la configuración de la superestructura diseñada en el área de Ingeniería de la compañía, garantiza que el espacio de supervivencia determinado por el Directiva 2001/85/CEE no es invadido al finalizar el ensayo.

Se realiza así mismo, un análisis de carácter teórico por medio de la utilización del software Ansys y bajo la responsabilidad de un laboratorio certificado, esto con el fin de tener una proyección de lo que debería pasar haciendo el experimento y comparar los datos experimentales en función de los teóricos, teniendo resultados similares, se podrá inferir que las demás certificaciones que la empresa quisiera realizar se basaran en la prueba experimental que es muchísimo más barata que el análisis teórico por medio de laboratorio.

La comprobación de este protocolo de manera experimental, permitirá a la empresa certificar en dicho reglamento la carrocería objeto del presente estudio y homologarla ante el ministerio de transporte nacional, de esta manera se podrá llegar a mercados internacionales que exigen altos estándares de calidad estructural y de seguridad.

A los ejecutantes de este trabajo permitirá el crecimiento de tipo teórico y profesional en la temática que le brindara las herramientas necesarias para la creación de un protocolo que permita desde el diseño de una nueva estructura garantizar el acercamiento de la misma a una configuración que asegure el cumplimiento de la normativa.

1.2 GENERALIDADES E IMPORTANCIA DE LA PRUEBA

Entre las diferentes maniobras que puede experimentar un vehículo y que más van a comprometer la seguridad de los pasajeros, se encuentra el volcamiento lateral. Técnicamente el vuelco lateral se puede definir como una maniobra que experimenta el vehículo cuando gira alrededor de su eje longitudinal impactando con el suelo. Este giro puede ser provocado por diferentes factores. Puede producirse cuando el vehículo se desplaza sobre una superficie plana y alcanza un valor a partir del cual no puede ser compensada por la transferencia de carga de los neumáticos. Una superficie en contrapendiente conjuntamente con irregularidades del terreno procedentes de obstáculos, suelo con baja adherencia (tierra, nieve, hielo...), etc. pueden también contribuir a que el vehículo se desestabilice y vuelque debido a un centro de masa muy alto.

Los accidentes de tráfico en los que ocurren volcamientos representan un problema serio en la mayoría de las carreteras del mundo. El volcamiento lateral supone un accidente en el que el vehículo experimenta un movimiento en el espacio que puede llegar a ser muy complejo, ya que puede incluir tanto un desplazamiento lineal como angular, en las tres direcciones respecto a un marco de referencia (X, Y y Z), resultando a su vez, en un movimiento complejo e impredecible de los ocupantes del mismo.

Precisamente, este movimiento de los ocupantes del vehículo durante el vuelco, puede llegar a provocar una gran variedad de daños en ellos, aumentando la posibilidad de recibir lesiones más fuertes que las provocadas por otro tipo de impactos como por ejemplo los de tipo frontal.

Por estas razones, los fabricantes de carrocerías hoy en día prestan mayor atención al diseño del vehículo para maximizar los niveles de seguridad pasiva en caso de volcamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende mejorar los niveles de seguridad, específicamente en las carrocerías de transporte público de pasajeros, basados en los reportes de mortalidad donde se evidencia que el vuelco es el principal factor causante de muertes en los distintos tipos de accidentes que ocurren en las carrocerías, por esto es necesario la implementación de un sistema para el aseguramiento de resistencia estructural al volcamiento, que este al día con las tendencias tecnológicas [14].

Por medio de la ejecución de este ensayo se llegara a la homologación y certificación de las carrocerías que cumplan con los valores establecidos dentro de la Directiva 2001\85\CE.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Implementar la Directiva 2001\85\CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea de manera experimental y analítica en una sección de una carrocería Busstar 360 de la empresa Busscar de Colombia.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Conceptualizar de manera clara los requerimientos de la directiva 2001/85/CE.
- Seleccionar de manera correcta la sección de la carrocería a trabajar basados en los requerimientos de la directiva 2001/85/CE.
- Analizar y comparar el ensayo teórico y analítico por medio del software Ansys con los resultados obtenidos de manera experimental.
- Construir la sección de la carrocería a volcar.
- Realizar de manera experimental la prueba de volcamiento de la sección de la carrocería seleccionada.

1.5 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACION

La presente investigación tiene como objetivo la realización de una prueba experimental bajo el contexto de la norma o reglamento 66 de las naciones unidas, la realización de esta prueba y sus resultados serán comparados con el análisis teórico llevado a cabo por un laboratorio Español llamado INSIA, laboratorio experto en esta clase de pruebas.

Para la ejecución de esta investigación el capítulo 1 muestra la justificación de la misma y el objetivo general, el cual tiene que ver con la realización experimental de una prueba de vuelco para una carrocería determinada de la compañía Busscar de Colombia SAS, una vez superada la presentación se realiza una contextualización general de la normativa y de otras reglamentaciones relacionadas con la prueba en el capítulo número 2, es muy importante este capítulo con el fin de verificar los lineamientos requeridos y existentes en estas reglamentaciones.

En el capítulo número 3 llamado metodología y experimento se pretende dejar claro cuál es el tipo de estructura y composición de la prueba, la clase de experimento aplicado y los resultados esperados de él, la metodología define la forma de presentación de los resultados. En este capítulo se muestra la configuración de la prueba y los resultados obtenidos por el laboratorio en el estudio teórico, resultados que se analizarán en el posterior capítulo 4, donde se hace un comparativo entre los resultados obtenidos en el

experimento y los enviados por el laboratorio español, en este capítulo se tiene finalmente la conclusión general del trabajo donde se indica si la carrocería efectivamente soporta el vuelco y el impacto que se genere en el momento que este ocurra. Conclusiones que se plasman en el último capítulo, el número 5, donde se tienen todas las recomendaciones, los aportes y por su puesto las conclusiones generales de esta investigación.

2 ASPECTOS GENERALES SOBRE LA INVESTIGACION

2.1 MARCO TEORICO

La Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, es un documento que contiene las prescripciones técnicas relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros que corresponde con la resistencia de su superestructura.

Este documento contiene todos los requerimientos necesarios para la homologación de distintas carrocerías y de acuerdo con parámetros técnicos, físicos y geométricos que deberán ser cumplidos con el fin de aprobar y validar la integridad de la estructura.

En distintos países a nivel mundial es requerida la homologación para ingresar en su mercado, es por eso que los fabricantes de carrocerías deben iniciar con todo el procedimiento que incluye distintas auditorias en todo el proceso de la prueba que permite la certificación de cumplimiento.

El principal objetivo para el cumplimiento de esta directiva es el de determinar la resistencia de la carrocería en presencia de un eventual vuelco en operación, de esta forma se garantiza la plena seguridad de los usuarios.

A continuación la imagen 1 muestra un esquema de la prueba de vuelco en la que se emplea una sección de una carrocería próxima a volcarse.

Imagen 1. Sistema a punto para realización de prueba de volcamiento



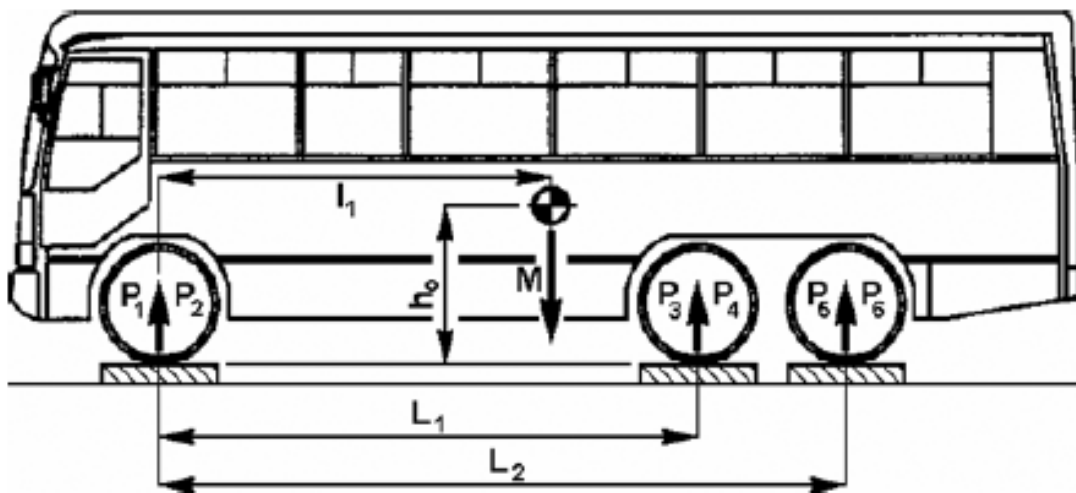
El proceso de implementación de la directiva 2001/85/CE inicia con una solicitud de homologación que debe presentar el fabricante de las carrocerías con respecto a la resistencia de su superestructura ante un representante debidamente acreditado al departamento administrativo.

Esta solicitud deberá estar acompañada de documentos tales como los principales datos identificativos y parámetros del tipo de vehículo o grupo de tipos de vehículo, los dibujos de la disposición general del tipo de vehículo, su carrocería y distribución interior con las dimensiones principales. Se deberá indicar qué asientos están equipados con retenciones para viajeros, así como las dimensiones precisas de su ubicación en el vehículo.

De igual forma se deberá definir la masa en orden de marcha del vehículo y las cargas por eje correspondientes, también se debe ser claro con la posición exacta del centro de gravedad del vehículo sin carga, junto con el informe de medidas.

A continuación la imagen 2 indica la representación del centro de masa dentro del sistema vehículo-chasis, con base a las instrucciones de la directiva, se debe determinar este centro de masa en la carrocería seleccionada y presta para la prueba.

Imagen 2. Representación centro de masa según la Directiva 2001/85/CE



Fuente: [8]

En la última parte del proceso, el ente certificador podrá entregar dicho documento a la compañía carrocería siempre y cuando esta cumpla con los requisitos establecidos en el reglamento (mencionados posteriormente) y que haya obviamente obtenido un buen resultado en la prueba lo que indica que la estructura es resistente a un eventual vuelco en el momento de operación o de servicio.

Esto quiere decir que ninguna parte del vehículo que se encuentre fuera del espacio de supervivencia al inicio del ensayo (por ejemplo, montantes, anillos de seguridad o rejillas porta equipajes) podrá invadir dicha área una vez se ponga en marcha la prueba, a la hora

de evaluar la invasión del espacio de supervivencia, se ignorarán todas las partes estructurales que originalmente se encuentren en dicho espacio.

Como se observa en la imagen 3, se deben incluir galgas de dimensiones especificadas por la Directiva 2001/85/CE las cuales no pueden ser invadidas o tocadas por ningún elemento estructural en el momento de volcar la carrocería.

Imagen 3. Carrocería con galgas que simulan área de supervivencia



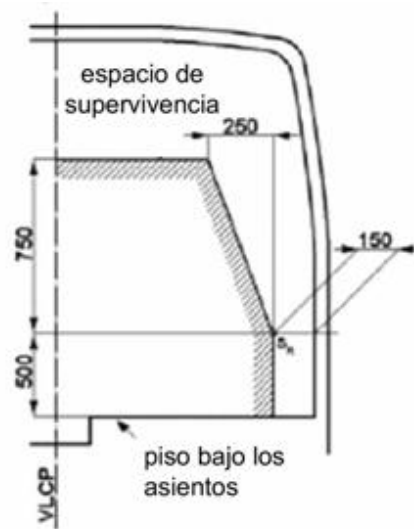
El envoltorio del espacio de supervivencia del vehículo se determinará creando en el interior del mismo un plano transversal vertical que tenga los márgenes descritos en las imágenes 4 y 5 y desplazándolo por la longitud del vehículo tal como se muestra en la imagen 6, como se describe a continuación [8]:

- El punto SR estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás (o en la posición supuesta del asiento), 500 mm por encima del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral;

no se tendrán en cuenta los pasos de rueda ni demás variaciones de la altura del piso; estas dimensiones también se aplicarán a los asientos orientados hacia el interior, en sus planos centrales.

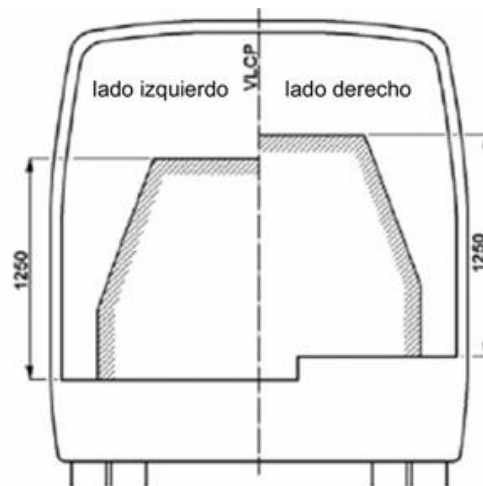
- Cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos SR sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia [véase la imagen 5].
- La posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto SR del asiento exterior más atrasado o la cara interna de la pared trasera del vehículo cuando esté situada a menos de 200 mm por detrás del punto SR.
- La posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto SR del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada; si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente.
- El espacio de supervivencia entre el plano más atrasado y el más adelantado del compartimento de viajeros, del compartimento del personal y el del conductor, es continuo y se determina desplazando por toda la longitud del vehículo, a lo largo de líneas rectas y a través de los puntos SR situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido; detrás del punto SR del asiento más atrasado y delante del punto SR del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales.
- Para simular el peor caso en un grupo de tipos de vehículo y permitir futuros avances de diseño, el fabricante podrá definir un espacio de supervivencia mayor de lo necesario para una disposición de asiento determinada.

Imagen 4. Determinación del área de supervivencia



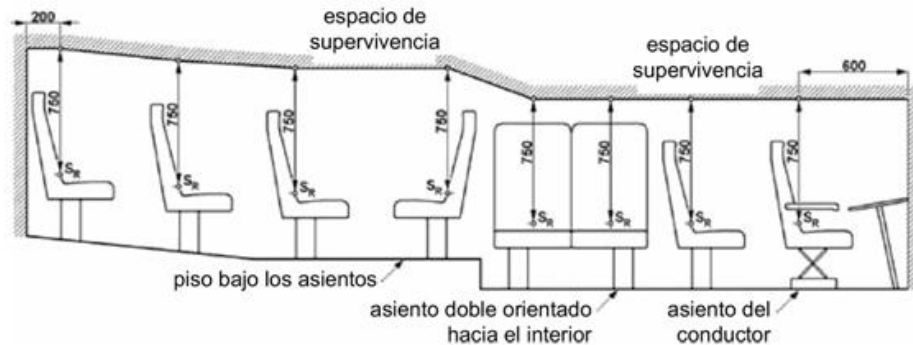
Fuente: [8]

Imagen 5. Determinación del área de supervivencia en la sección



Fuente: [8]

Imagen 6. Determinación del área de supervivencia en la longitud



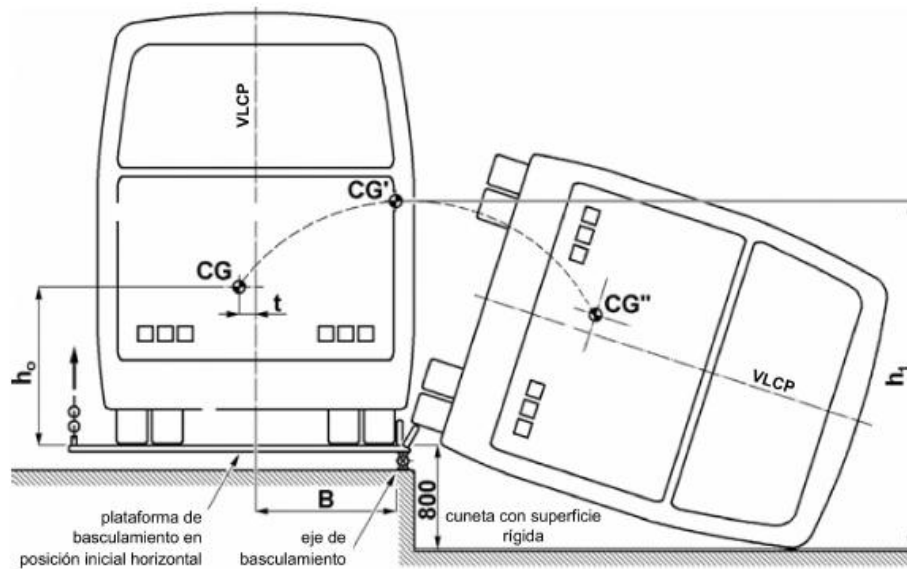
Fuente: [8]

Una vez definida el área y los requisitos a entregar, la Directiva 2001/85/CE relaciona un procedimiento básico para la realización del ensayo, algunos de sus principales aspectos se relacionan a continuación [8].

- El vehículo completo se coloca en la plataforma de basculamiento, con la suspensión bloqueada y va inclinándose poco a poco hacia su posición de equilibrio inestable; inicialmente su centro de masa CG se encuentra a una distancia transversal t de la línea central de la sección transversal de la carrocería VLCP y a una altura inicial h_0 , cuando el tipo de vehículo no esté equipado con retenciones del ocupante, se realizará el ensayo en condiciones de masa en orden de marcha; cuando el tipo de vehículo esté equipado con retenciones del ocupante, se realizará el ensayo en condiciones de masa total efectiva del vehículo.
- El ensayo de vuelco empieza en la posición inestable del vehículo, con velocidad angular cero y el eje de rotación pasando a través de los puntos de contacto de las ruedas con el suelo a una distancia B del centro de la sección transversal VLCP. El centro de masa CG se desplaza a distintas posiciones una vez se rompe la condición de equilibrio y estabilidad, ellos se muestran en la imagen 7 y se ubican en el CG' y CG''.
- El vehículo cae de lado en una cuneta con superficie de cemento, horizontal, seca y lisa, cuya profundidad nominal es de 800 mm.

En la imagen 7, se observa como es el procedimiento básico en cuanto a la prueba de volcamiento.

Imagen 7. Disposición de la prueba de volcamiento.



Fuente: [8]

La imagen permite observar la altura de la plataforma de volcamiento, la ubicación del centro de masas dentro de la carrocería a volcar y las distintas dimensiones necesarias para la realización de la prueba.

Los fabricantes de carrocerías tienen algunas alternativas en caso que la realización de una prueba física resulte difícil de ejecutar por diversas razones, es posible entonces, encontrar homologaciones equivalentes así [8]:

- A un ensayo de vuelco en un vehículo completo, esto de conformidad con las especificaciones definidas.
- Un ensayo de vuelco en una sección o secciones de la carrocería representativa de un vehículo completo, de conformidad con las especificaciones definidas.

- Un ensayo de péndulo en una sección o secciones de la carrocería, de conformidad con las especificaciones definidas.
- Una verificación de la resistencia de la superestructura por un cálculo, de conformidad con las especificaciones definidas.

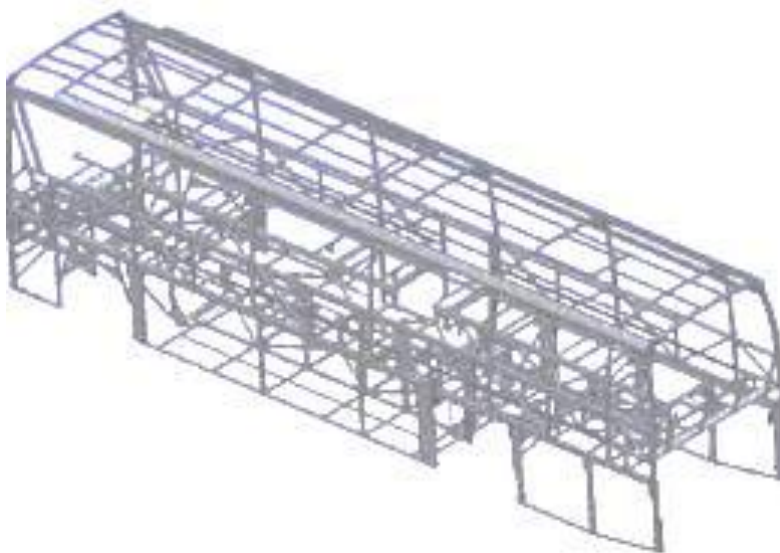
De esta manera el fabricante de carrocerías podrá optar por alguna de estas formas de homologación que además podrá mantener y renovar con base a lo seleccionado. Esto obviamente permite el hecho de no perder estructuras en el ensayo destructivo [1].

2.2.MARCO CONCEPTUAL

2.2.1Carrocería: la unidad técnica independiente que incluye todo el equipo interno y externo especial del vehículo [12].

La carrocería de un vehículo es aquella estructura donde reposan los pasajeros y que en su diseño prescinde del bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico, como motor, caja de cambios, transmisión entre otras [2].

Imagen 8. Imagen de la estructura de una carrocería



Fuente: [3]

2.2.2 Chasis: el chasis de un vehículo automóvil se destina al montaje de una carrocería con elementos desmontables. Se compone de dos largueros, travesaños y diagonales [13]. Armazón del vehículo que comprende el bastidor, ruedas, transmisión, con o sin motor excluyendo la carrocería y todos los accesorios necesarios para acomodar al conductor y a los pasajeros [1].

El chasis a ser usado para carrozar debe tener la certificación del fabricante que se encuentra diseñado para soportar las condiciones de operación a las que se expone un bus urbano de transporte de pasajeros o intermunicipal. La certificación debe indicar que el chasis es de fabricación original y no debe ser modificado [3].

Imagen 9. Imagen del chasis que soporta una carrocería



Fuente: [3]

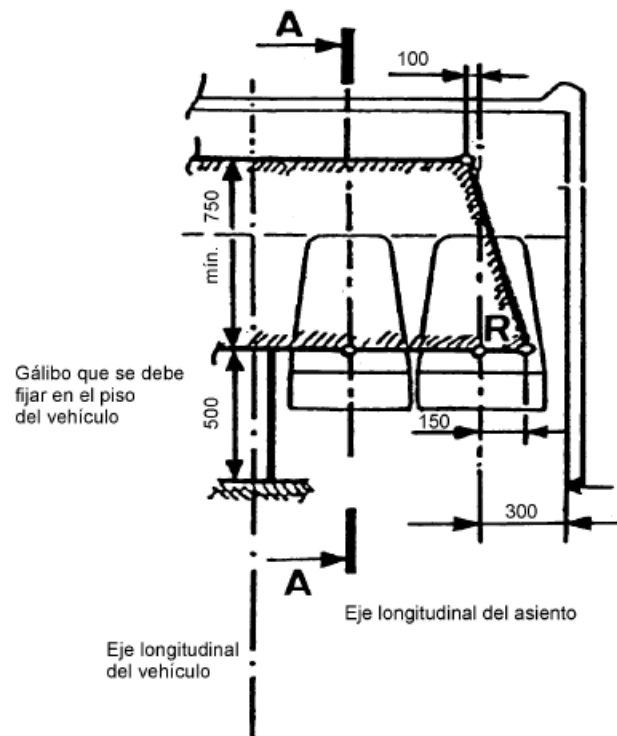
2.2.3 Espacio de supervivencia: el espacio que debe quedar en el compartimento de viajeros mientras se somete la estructura a prueba de vuelco y después de dicho ensayo [4].

El espacio de supervivencia es el volumen que se obtiene en el compartimento de viajeros, desplazando en línea recta el plano vertical transversal indicado en la imagen 10, de manera

que se pase el punto R desde el último asiento exterior a través de cada asiento exterior intermedio y hasta el punto R del primer asiento exterior de viajero.

El punto R está a 500 mm por encima del suelo debajo de los pies de los viajeros, a 300 mm de la cara interna del lateral del vehículo y a 100 mm por delante del respaldo del asiento, en el eje longitudinal de los asientos exteriores [4].

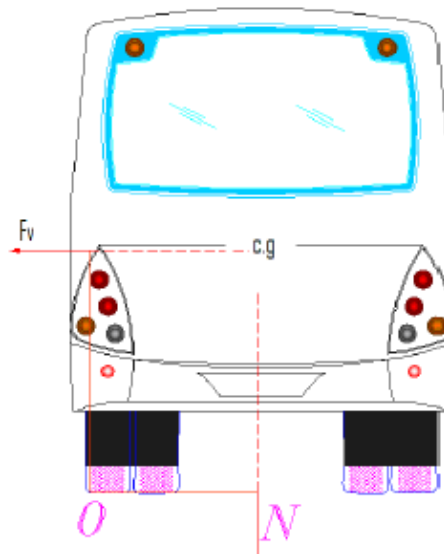
Imagen 10. Espacio de supervivencia



Fuente: [1]

2.2.4 Fuerza de vuelco (FV): es la fuerza horizontal aplicada en el centro de gravedad de una sección transversal del bus que provocará el volcamiento, considerando como pivote el punto de contacto exterior del neumático con la superficie de rodadura [5].

Imagen 11. Representación de la fuerza de vuelco



Fuente: [5]

2.2.5 Estabilidad del vehículo en las curvas: las curvas son los elementos de trazado de la carretera que presentan una mayor problemática desde el punto de vista de las carrocerías, estas deben tener geometrías de forma tal que garanticen una correcta estabilidad de cualquier vehículo que transita por ellas.

Este hecho es debido a la peculiar distribución de fuerzas que actúan sobre el automóvil cuando éste aborda este tipo de alineaciones en planta, mucho más crítica que la existente en alineaciones rectas. Por tanto, para diseñar correctamente una curva es necesario determinar qué requisitos deben presentar para que los vehículos transiten por ésta en condiciones de seguridad y comodidad adecuadas, así como cuantificar el factor de seguridad existente en diversas condiciones de circulación [5].

2.2.6 Dinámica del vehículo en curvas: el comportamiento de un vehículo al tomar una curva es, como consecuencia del sistema de fuerzas actuantes sobre el mismo, más inestable que cuando se encuentra circulando por línea recta.

La principal diferencia entre ambas situaciones es la aparición en el primer caso de la fuerza centrífuga; esta fuerza ficticia no es más que consecuencia de la Ley de Inercia - primera Ley de Newton, ya que al tomar la curva el vehículo se encuentra constantemente variando su dirección. Para contrarrestar dicho efecto, se dota a la curva de un peralte o inclinación transversal.

Las fuerzas actuantes sobre el vehículo, imagen 12 son las siguientes:

Peso del vehículo (P): fuerza vertical aplicada en el centro de masas del móvil, c , generada como consecuencia de la acción del campo gravitatorio terrestre. Puede expresarse en función de la aceleración de la gravedad, g , y de la masa del vehículo, m :

$$P = m \times g \quad \text{Ec (1)}$$

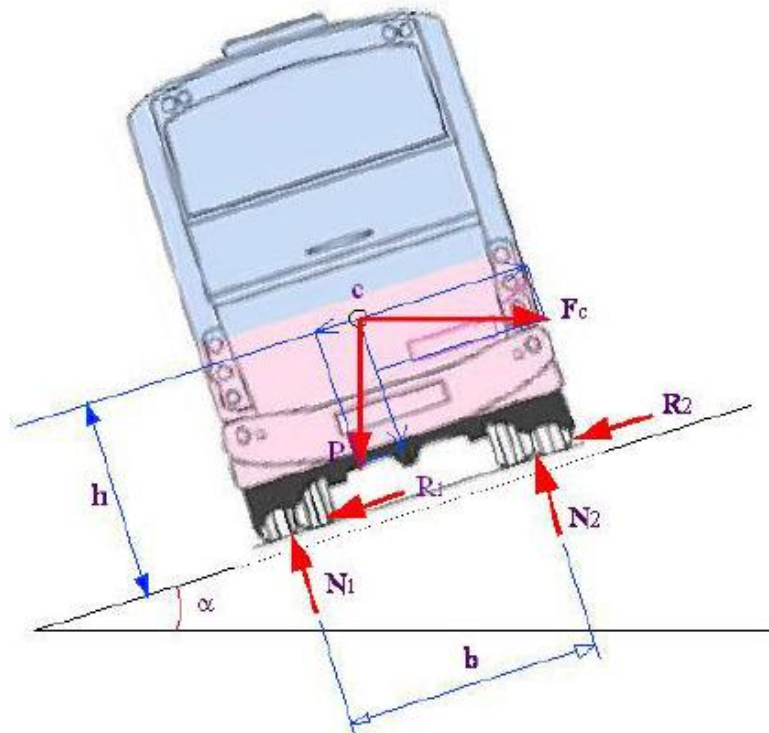
Fuerza centrífuga (F_c): provocada por la variación en la dirección del vehículo dentro de la curva circular. Es proporcional a la aceleración normal, a_n , que depende de la velocidad a la que circula el vehículo, v , y del radio r de la curva. Su expresión matemática es la siguiente:

$$F_c = m \times a_n = m \frac{v^2}{r} \quad \text{Ec (2)}$$

Fuerza de rozamiento (R): fuerza pasiva producida por el contacto entre neumático y pavimento. Depende de la reacción normal a la superficie de contacto, N , y del coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal, f_t . Su expresión matemática es la siguiente:

$$R = f_t \times N \quad \text{Ec (3)}$$

Imagen 12. Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva



Fuente: [5]

2.2.7 Condiciones de estabilidad e hipótesis del vuelco: el vuelco del vehículo tendrá lugar si el momento producido por las fuerzas desestabilizadoras o de volcamiento superan al momento generado por las fuerzas estabilizadoras que sobre él inciden.

Planteando el equilibrio de momentos respecto del centro de gravedad del vehículo, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{b}{2}(N_2 + N_1) = h(R_1 + R_2) \quad \text{Ec (4)}$$

Siendo b la distancia entre los puntos de apoyo y h la del centro de masa al suelo medida de manera perpendicular a este, y además considerando que la fuerza de rozamiento, R_i , puede expresarse en función de la normal correspondiente, N_i , la anterior expresión de equilibrio puede describirse como:

$$\frac{b}{2}(N_2 - N_1) = Fth(N_1 + N_2) \quad \text{Ec (5)}$$

Los puntos críticos donde puede producirse este vuelco son aquellos donde se produce el contacto del vehículo con él en una posición firme, pudiéndose ocasionar vuelco hacia el exterior o hacia el interior de la curva.

2.2.8 Clasificación de las carrocerías: los vehículos para transporte terrestre colectivo de pasajeros se dividen, según la clase, las cuales se describen a continuación [1]:

Clase I: vehículos para prestar el servicio público colectivo dentro del radio de acción municipal, distrital y metropolitano.

Imagen 13. Vehículos clase I



Fuente: [9]

Clase II: vehículos para prestar el servicio público colectivo dentro del radio de acción nacional.

Imagen 14. Vehículo clase II



Fuente: [9]

Clase III: vehículos para prestar el servicio público especial dentro del radio de acción municipal, distrital, metropolitano o nacional.

Imagen 15. Vehículo clase III



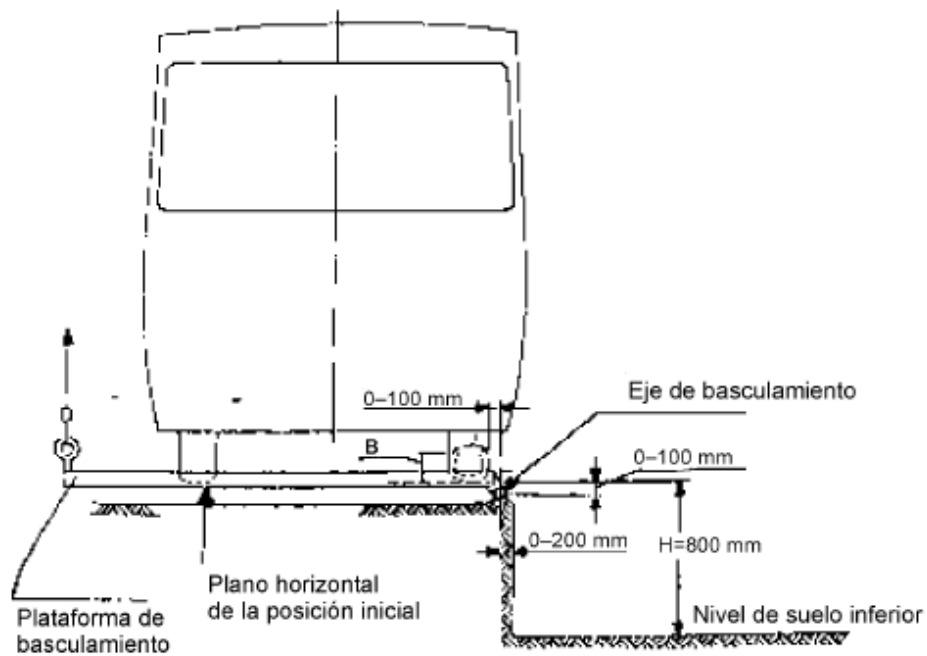
Fuente: [9]

2.2.9 Banco de ensayos: la plataforma de basculamiento será lo suficientemente rígida y su rotación estará lo suficientemente controlada como para garantizar el levantamiento simultáneo de los ejes del vehículo con una diferencia inferior a 1° .

La diferencia de altura entre el plano inferior horizontal de la cuneta, lugar donde se dará el impacto de la carrocería con el suelo, y el plano de la plataforma de basculamiento, lugar o punto de partida de la carrocería o sección, será de 800 ± 20 mm.

Su eje de rotación estará a un máximo de 100 mm desde la pared vertical de la cuneta y a un máximo de 100 mm por debajo del plano de la plataforma de basculamiento horizontal.

Imagen 16. Esquemas y dimensiones de sistema de volcamiento



Fuente: [1]

3 METODOLOGIA Y EXPERIMENTO

3.1 PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE ENSAYO.

El ensayo debe llevarse a cabo con cuidado y siguiendo los lineamientos del reglamento, se menciona a continuación los detalles y el procedimiento de preparación para la ejecución de la prueba [1].

- El vehículo, aunque no es necesario que esté totalmente terminado, será representativo de la producción de vehículos en cuanto a su masa en vacío en orden de marcha, centro de gravedad y distribución de masas tal y como lo declara el fabricante.
- Si los asientos del conductor y de los viajeros son regulables se pondrán con el respaldo en posición vertical. Si los asientos se pueden regular en altura, estarán en la posición más alta.
- Todas las puertas y ventanas del vehículo practicables deberán estar cerradas normalmente, pero no bloqueadas. Las ventanas y los mamparos o pantallas que normalmente están acristalados, pueden o no estar provistos de sus lunas a voluntad del solicitante. Si están desprovistos de sus lunas, deberá instalarse en el vehículo un peso equivalente en los lugares adecuados.
- Los neumáticos se deberán hinchar a la presión prescrita por el fabricante del vehículo, y si el vehículo tiene un sistema de suspensión neumática, se asegurará la alimentación de aire. Todo sistema de nivelado automático se deberá ajustar al nivel especificado por el fabricante, con el vehículo sobre una superficie plana y horizontal. Los amortiguadores deberán estar en buen estado de funcionamiento.
- El carburante, el ácido de batería y otros materiales combustibles, explosivos o corrosivos podrán sustituirse
- El área de impacto será de cemento u otro material rígido

3.2 PROCEDIMIENTO Y PROCESO DEL ENSAYO

El ensayo de vuelco es un proceso muy rápido y dinámico con etapas diferenciadas, lo que debería tenerse en cuenta a la hora de planificar el ensayo, los instrumentos y mediciones a realizar.

El vehículo basculará sin balancearse y sin efectos dinámicos hasta que alcance el equilibrio inestable y comience el vuelco. La velocidad angular de la plataforma de basculamiento no superará los 5 grados por segundo (0,087 rad/s).

Se utilizará fotografía ultra rápida, galgas de comparación para mensurar dimensiones máximas y otros medios apropiados para determinar que se cumplen las condiciones.

Esto se verificará en al menos dos lugares, en principio en la parte delantera y trasera del compartimiento de viajeros; los lugares exactos serán elegidos por el servicio técnico. Los gálíbos se fijarán en partes de la estructura prácticamente indeformables.

Una vez se eleve la sección de la carrocería y esta termine por caer al suelo dadas las distancias iniciales, se procederá con la inspección visual para determinar el resultado del ensayo [4].

3.2.1 Documentación del ensayo de vuelco; el fabricante facilitará una descripción detallada del vehículo sometido a ensayo, en la cual:

1. Se demostrará la sustitución equivalente (con respecto a la masa, la distribución de la masa y la instalación) en cada caso, cuando las partes estructurales y las unidades se sustituyan por otras unidades o masas.
2. Se incluirá una declaración precisa de la posición del centro de gravedad en el vehículo sometido a ensayo, que podrá estar basada en las mediciones realizadas en el vehículo objeto de la prueba cuando este se prepara para el ensayo, o en una combinación de

medidas (tomadas en el tipo de vehículo completamente terminado) y un cálculo basado en las sustituciones de las masas.

3. Generará un informe de ensayo que incluirá todos los datos (imágenes, grabaciones, dibujos y valores medidos).

3.2.2 Evaluación de los ensayos; se homologará el tipo de vehículo cuando la sección de la carrocería cuando la deformación de la estructura no invada la zona de vida, de lo contrario la carrocería no supera el ensayo, no se homologará el tipo de vehículo.

Cuando la sección de la carrocería supere el ensayo de vuelco, se considerará que todos los segmentos que forman dicha sección de la carrocería han superado el ensayo de vuelco, y podrá citarse el resultado en futuras solicitudes de homologación, siempre y cuando la proporción de sus masas sea la misma en la superestructura en cuestión.

Cuando una sección de la carrocería no supere el ensayo de vuelco, se considerará que ningún segmento de dicha sección de la carrocería ha superado el ensayo de vuelco, incluso cuando el espacio de supervivencia solo se haya visto invadido en uno de los segmentos.

3.3 METODOLOGÍA

La investigación contiene una fase inicial de orden teórico, realizada con la utilización del software Ansys y acompañada por el laboratorio internacional y certificado de Insia, este análisis se hace con el fin de tener un estudio con el cual comparar los resultados obtenidos de manera experimental y de esta manera adoptarla dentro del protocolo de certificación por su validez y costo más bajo, así mismo, con el objetivo de proyectar el desempeño de la carrocería en el momento de realizar la prueba experimental e inferir acerca de la calidad de la estructura con las recomendaciones del laboratorio, laboratorio que cuenta con amplia experiencia en el tema.

La segunda fase de la investigación es de carácter completamente experimental y físico, la validación de la estructura después de someterse a la prueba o vuelco es de análisis comparativo en función de las dimensiones de desplazamientos de la estructura producto del impacto y verificadas de manera visual y mensurada.

Una vez ejecutado el experimento y obtenidos los resultados, es necesario levantar la evidencia de lo obtenido a partir de documentos físicos como fotografías, videos y demás registros que permitan evidenciar y suministrar la información necesaria para la obtención de la certificación y realizar una comparación con los datos obtenidos en la modelación del laboratorio

Realizado el experimento y obtenidas las evidencias se realiza un análisis escrito de los resultados y se presenta en documento el informe final de la realización del procedimiento

3.3.1 Análisis teórico por medio de la utilización de Ansys: para la realización del análisis teórico, se trabaja con el laboratorio Español INSIA, Instituto Universitario de investigación del automóvil , quien en más de 25 años se ha convertido en un centro de referencia para la industria de automoción y el sector del transporte a nivel europeo.

Las principales actividades del Instituto abarcan la Investigación y Desarrollo en el ámbito de los vehículos automóviles y sus impactos en seguridad y medioambiente participando en diversos proyectos de investigación en todas partes del mundo.

Además, ofrece apoyo tecnológico a las empresas y administraciones públicas, prestando servicios tecnológicos que se materializan en trabajos de asesoramiento, ensayos y certificaciones. También destaca su formación de posgrado y especializada.

El reconocimiento de dicho laboratorio inclino la decisión de realizar dicho estudio con ellos, como se menciona en apartes anteriores, el estudio de la estructura de la carrocería de Busscar por parte de este laboratorio permitirá tener, si es del caso, recomendaciones sobre la calidad de la misma y posibilidades de mejora con el fin de tener una carrocería resistente en equilibrio con el peso.

El laboratorio solicita entonces de parte de la compañía, los planos de la estructura a realizar, esta se comprende por la estructura lateral derecha, estructura lateral izquierda, estructura base, estructura techo, estructura piso conductor, estructura frente y estructura trasera, estas debidamente ensambladas y preparadas para un estudio por medio de elementos finitos.

Junto con el ensamble de la estructura se deben determinar datos relacionados con la carrocería terminada, por ejemplo longitud final, tipo de chasis y demás elementos presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de la carrocería a analizar

Carrocería	Busstar 360
Bastidor	Scania, Tipo K310 IB4x2
Masa en vacío en orden de marcha [kg]	13640
Longitud [mm]	13200
Anchura [mm]	2553
Altura [mm]	3615
Número de anillos	5 anillos intermedios + E. Delantera + E. Trasera
Número de pasajeros	47

Fuente: [10]

Una vez definidos los elementos de entrada como carrocería y chasis, se debe tener en cuenta el tipo de acero utilizado y las propiedades del mismo, esto con el fin de tener un modelo para la simulación, la información del acero usado y modelado para su creación en el software es la siguiente [10]:

- Límite Elástico: 370 MPa
- Límite de Rotura: 510 MPa
- % de elongación promedio: 21%

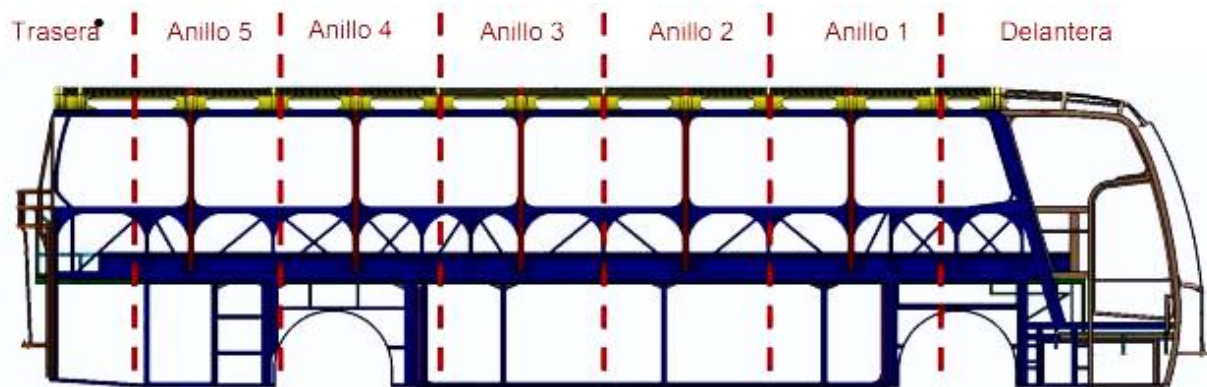
Esta información y propiedades corresponden a un acero estructural galvanizado, es importante aclarar que la compañía se reserva gran parte de la composición estructural de

sus carrocerías tales como perfiles, espesores y distribución de cerchas, aun así se relaciona alguna información como la anterior.

El número de anillos relacionado tiene que ver con el concepto estructural utilizado en la carrocería, este consta de alineación entre los parales de las estructuras laterales con las vigas de la base y los aros de techo, cerrando así, un pseudoanillo o anillo interrumpido solo por las tuberías longitudinales de los laterales, la imagen 17, muestra la coherencia de las estructuras y la formación de los anillos interrumpidos.

Para la realización del análisis se hace entonces una estratificación de la carrocería en distintas zonas delimitadas por los anillos, la imagen 17, muestra dicha distribución

Imagen 17. Distribución estructural de la carrocería para análisis



Fuente: [10]

El software usado por el laboratorio es Ansys, en el, se establecen las restricciones según lo requerido por la normativa, se configuran elementos tipo viga en la superestructura y elementos tipo placa en la zona de supervivencia y en la placa de aplicación de la carga.

En el modelo resultan entonces 1530 elementos y 1145 nodos. Una vez definidos los parámetros de simulación se debe calcular la energía, para esto se debe ser riguroso en el procedimiento de cálculo según el Reglamento 66. La energía disipada en el impacto, es determinada y calculada según los estudios de laboratorio es de 111000 J [10].

Se procede después a calcular las energías absorbidas por la estructura en cada una de los componentes estructurales definidos por anillos, los resultados se relación en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Resultados de energía absorbida por la carrocería en simulación

Delantera	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Trasera	TOTAL
29976	9621	9433	9429	9468	11849	38870	118646

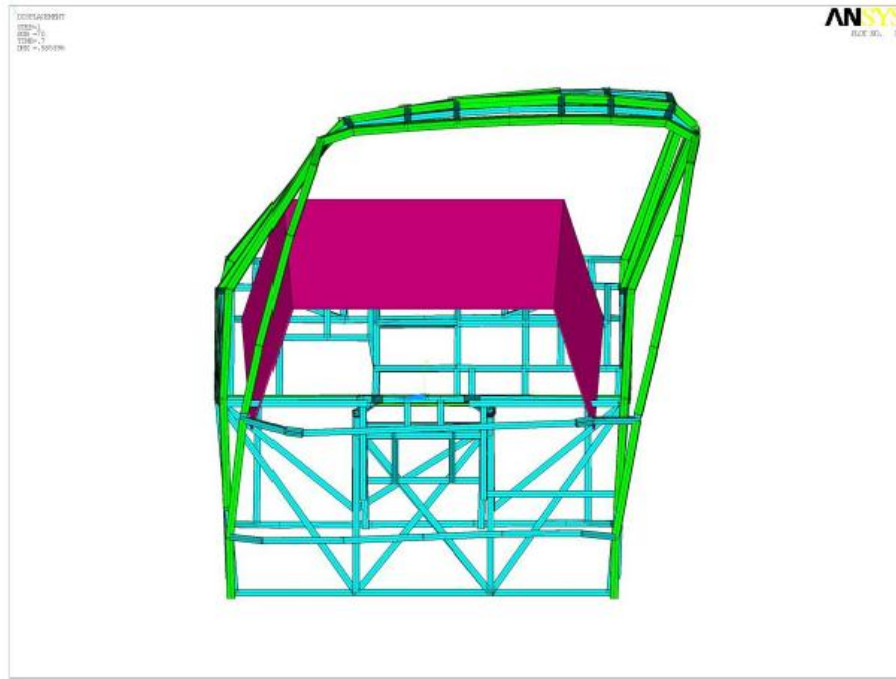
Fuente: [10]

De esta manera, y bajo informe certificado, el laboratorio INSIA concluye que la estructura de la carrocería Busstar 360 de la compañía Busscar de Colombia S.A.S. es óptima y supera los requisitos solicitados por el Reglamento 66 de las naciones unidas.

La imagen 18, muestra el perfil deformado en la simulación realizada por el laboratorio, se puede observar gráficamente el cumplimiento de la sección de la carrocería y la apariencia final después de llevarse a cabo la simulación.

Infortunadamente el informe que es entregado por Insia no cuenta con valores numéricos de desplazamientos en mm, el informe se centra en las energías absorbidas en los anillos seleccionados y marcados, de esta manera no es posible una comparación de desplazamientos en función de la prueba experimental.

Imagen 18. Sección de la carrocería seleccionada para el vuelco



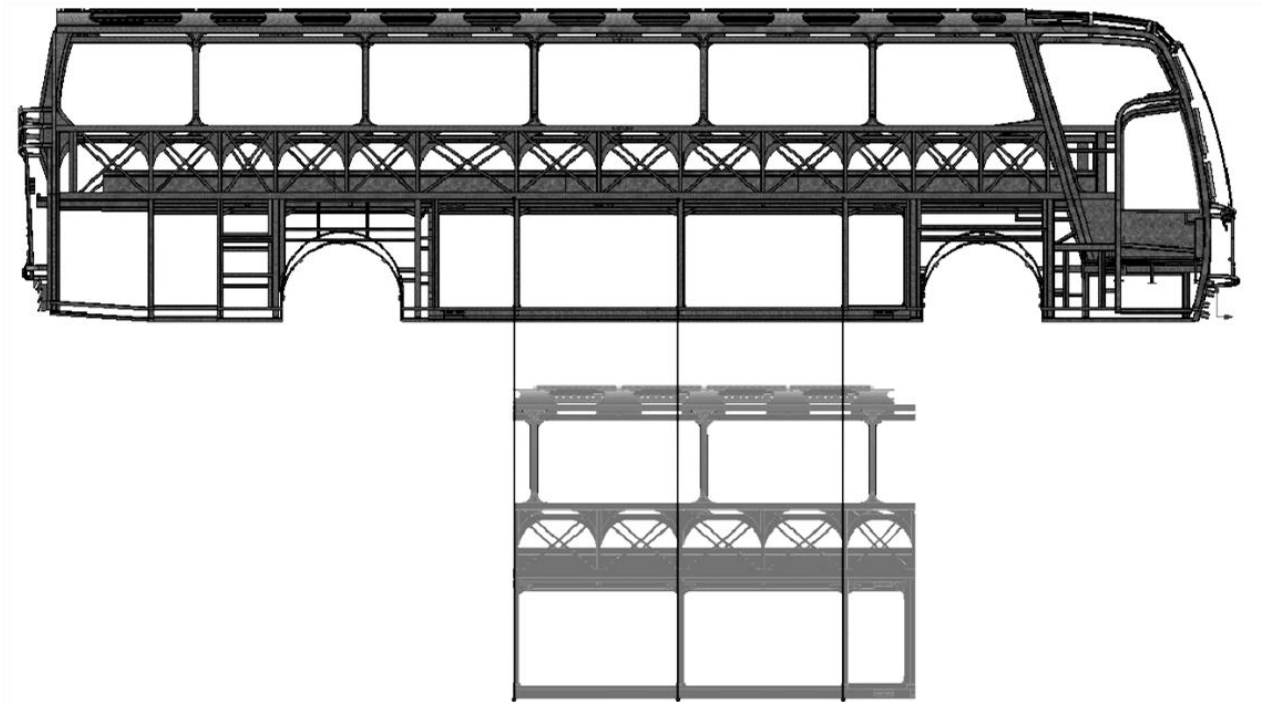
Fuente: [10]

3.3.2 Prueba experimental: la sección seleccionada de la carrocería representa una parte del vehículo en vacío. La geometría de dicha sección, el eje de rotación y la posición del centro de gravedad en sentido vertical y lateral son representativos del vehículo completo.

La sección elegida tiene que ver con que es la parte más abierta de la carrocería, es decir la que menos amarres al chasis tiene, puesto que los últimos se ubican en las zonas de los ejes y en la zona frontal y delantera del chasis, así mismo, es una de las zonas de la carrocería con más concentración de pasajeros.

A continuación la imagen 19 enseña la sección de la carrocería que se va a someter a vuelco

Imagen 19. Sección de la carrocería seleccionada para el vuelco

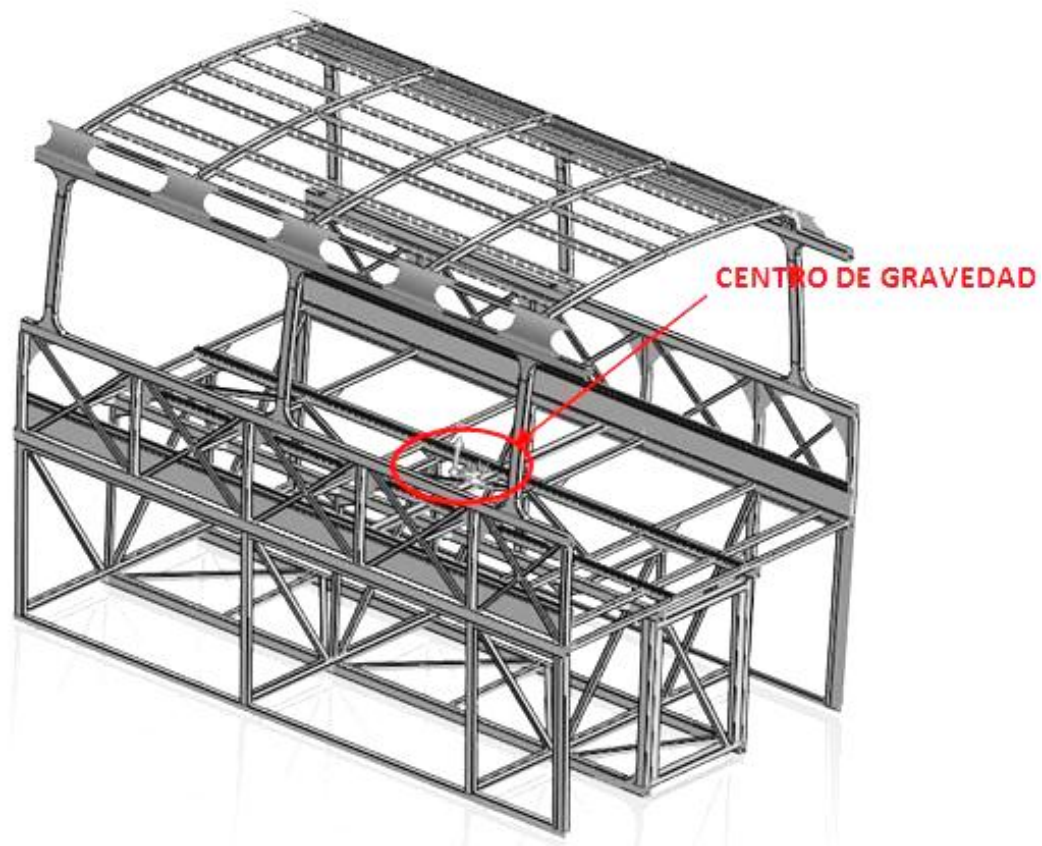


Fuente: [10]

Como se observa en la imagen anterior, la selección de la carrocería es la zona central, zona con alta densidad de carga viva y estructuralmente más abierta por su lejanía con los extremos del chasis sobre los cuales se amarra la carrocería principalmente en la zona de los ejes.

Como se menciona en numerales anteriores, se hace necesario calcular el centro de masa de la sección el cual se representa en la imagen 20 dentro de la carrocería completa. Para el correcto ensamble de la sección se hace uso de manuales de manejo de software [11].

Imagen 20. Representación del centro de masa del sistema



La sección de la carrocería representa el 32,5% de la carrocería completa en función de la masa, la descripción sobre el cálculo de la masa y de la energía se presentan a continuación.

Masa total de la carrocería = 5364Kg

Masa representada por la sección (32,5%)= 1744Kg

De igual manera, la sección de la carrocería representa el 32,5% de la carrocería completa en función de la energía, se tiene entonces:

$$E * = 0,75Mxgxh \text{ (Nm)} \quad Ec \text{ (6)} \quad [15]$$

Esta expresión puede reemplazarse también por la siguiente:

$$E^* = 0,75 M x g x \left[\sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 + H_s^2} - \frac{W}{2H} \sqrt{H^2 - 0,8^2} + 0,8 \frac{H_s}{H} \right] (Nm) \quad Ec (7)$$

Dónde:

E^* = Energía total (Nm)

M = Masa del vehículo vacío en orden de marcha (kg)

g = Constante gravitacional (m/s^2)

W = Ancho total del vehículo (m)

H_s = Altura del centro de masa del vehículo en vacío (m)

H = Altura del vehículo (m)

Los valores correspondientes a estas variables son propiedad de la compañía y no se podrá mencionarlos de manera numérica, aun así, el resultado del cálculo de la energía es el siguiente:

Energía total de la carrocería = 77360 J

Energía representada por la sección = 25145 J

Estos datos son requeridos según el reglamento y deben ser calculados en función de la sección de la carrocería a volcar para posteriormente inferir sobre la carrocería completa. Esta inferencia se hace de forma lineal y es por eso que debe hallarse el porcentaje representativo de la sección en la carrocería total.

La sección de la carrocería se sitúa en la plataforma de tal manera que el vuelco sea lateral, además la superficie se debe encontrar nivelada y el suelo debe ser lo suficientemente rígido como para resistir la caída de la estructura con el fin de generarle reacción al impacto y exigirla al máximo.

Todo el montaje se lleva a cabo siguiendo de manera estricta los lineamientos expuestos por el reglamento y con especial cuidado de no infringir ninguno de ellos.

Se disponen de dos galgas de verificación, una se ubica en la zona delantera y otra en la zona trasera de la sección, el objetivo es determinar si en las zonas más distantes de la estructura el desplazamiento es el mismo. Ambas galgas servirán como parámetro de aprobación o rechazo de la prueba.

Las imágenes 21 y 22 muestran el esquema planteado para la realización de la prueba de vuelco de la sección mencionada y la evidencia de la nivelación del sistema

Imagen 21. Sistema de volcamiento sección carrocería Busstar 360



Imagen 22. Evidencia del nivel de la estructura



Con el fin que el movimiento de la estructura en el momento del vuelco sea coherente con el objetivo del experimento y a su vez sencillo de ejecutar, es necesario que el eje de rotación de la carrocería sea paralelo al eje longitudinal o sentido longitudinal de la carrocería.

De esta manera la misma girará en ese sentido generando un vuelco hacia el lateral del vehículo y ajustándose a lo requerido por el reglamento

La imagen 23, muestra la ubicación del pivote sobre el cual gira la viga principal de la base que soporta la sección de la carrocería y a su vez la eleva con el fin de provocar el vuelco una vez se pierda el equilibrio. La dimensión y posición del pivote son especificadas en el reglamento y ajustada cuidadosamente.

Imagen 23. Pivote paralelo al eje longitudinal de la carrocería ubicado en la plataforma de elevación



El eje de rotación debe estar entre 0 mm y 100 mm desde la cara exterior del neumático del eje más ancho.

El eje de rotación entre 0 mm y 100 mm debajo del plano horizontal de la posición inicial en la cual están los neumáticos.

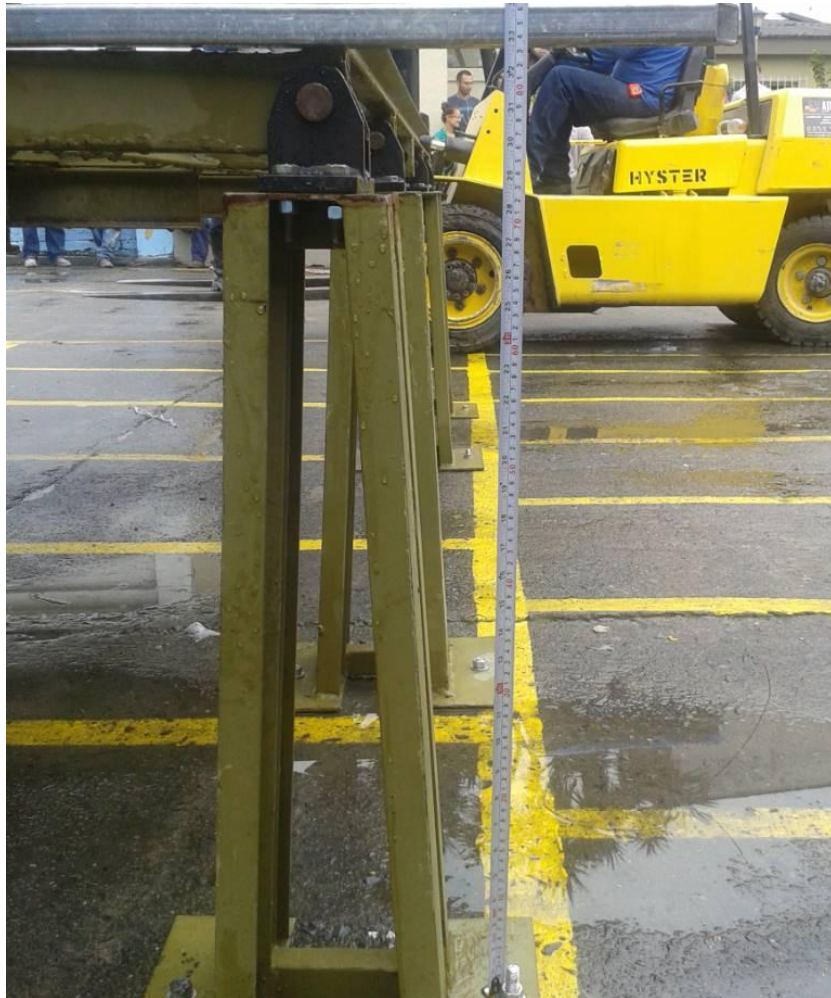
La imagen 24, muestra dicha condición. Una vez ubicado el pivote se debe revisar la altura del sistema, la diferencia entonces, entre la altura del plano horizontal de la posición inicial y el plano horizontal situado debajo, sobre el cual se llevó a cabo el impacto, no fue menor de 800 mm.

Imagen 24. Pivote paralelo al eje longitudinal de la carrocería ubicado en la plataforma de elevación



La siguiente imagen 25, evidencia la altura que se tiene del suelo a la base donde se soportara la estructura y que es acorde con las especificaciones del reglamento

Imagen 25. Altura del suelo a la base de volcamiento



La sección de la carrocería se ajusta debidamente con el fin de evitar los movimientos transversales que puedan afectar el normal movimiento o desplazamiento hasta el vuelco, una vez asegurada la sección y comprobadas las distancias de posición del pivote y de altura de caída, se procede con la elevación de la plataforma de soporte.

La imagen 26, ilustra la manera en la cual es accionada la plataforma, para ello se utiliza un montacargas que ejerce una fuerza vertical elevando la plataforma desde la parte móvil haciendo que la misma pivote en los puntos de giro previamente determinados.

El movimiento giratorio de la plataforma impulsa a su vez la sección de la estructura que posteriormente cae, impactando contra el suelo del lugar donde se llevó a cabo el experimento.

La sección se levanta hasta su basculamiento sin balanceo ni efectos dinámicos. La velocidad angular no es superior a cinco grados por segundo ($0,087 \text{ rad/s}$).

La velocidad máxima de subida para que la plataforma gire a una tasa de $0,087 \text{ rad/s} = 304 \text{ mm/s}$ y la velocidad de subida del montacargas = 410 mm en $5,9 \text{ s}$ lo que equivale a una velocidad máxima de $69,5 \text{ mm/s}$.

Imagen 26. Accionamiento de la plataforma y caída de la sección



En este momento finaliza la prueba o etapa experimental y se procede con el análisis de los resultados obtenidos

4. ANÀLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se observa en la siguiente imagen 27, la deformación que sufre la estructura no invade las galgas que representan la zona de vida o zona de los usuarios se verifica dicho comportamiento a lo largo de la sección con el fin de comprobar y validar la inspección visual.

Imagen 27. Sección de la carrocería después del impacto en el suelo



La imagen 28, muestra otra perspectiva del impacto, nuevamente se demuestra que la superestructura es lo suficientemente resistente como para proteger la vida de los usuarios. Como se mencionó en numerales anteriores, el hecho que una sección de la carrocería apruebe el vuelco y por ende la prueba, hace que toda la carrocería sea aprobada y certificada.

Imagen 28. Sección de la carrocería después del impacto en el suelo



Una vez verificada la estructura en el suelo y después de haber sufrido impacto, se procede a ponerla en sentido vertical, imagen 29, y a determinar las distancias aproximadas entre la estructura deformada y la zona de vida, dichas distancias solo para demostrar que no hubo interferencia, ya que el reglamento no hace referencia a alguna separación en particular ni determinada, solo especifica que no debe tocar.

En ese orden de ideas se presentan las imágenes 30, 31, 32 y 33, donde se evidencia que existe una separación considerable y que no hubo interferencia entre la estructura y la zona de vida.

Imagen 29. Sección de la carrocería después del impacto en posición vertical



Imagen 30. Distancia entre la estructura zona baja lateral derecha galga trasera



Imagen 31. Distancia entre la estructura zona baja lateral izquierdo galga trasera



Imagen 32. Distancia entre la estructura zona baja lateral derecha galga delantera



Imagen 33. Distancia entre la estructura zona baja lateral izquierda galga delantera



El resultado de la prueba experimental es positivo, la estructura no se deforma lo suficiente como para invadir la zona de vida, dichos resultados experimentales coinciden y guardan coherencia con los resultados obtenidos por medio del análisis de simulación.

5. CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Se realizaron amplias revisiones bibliográficas sobre la reglamentación de vuelco, se verificaron distintos estudios realizados y se llevó a cabo un estudio analítico de la superestructura, relacionado con las fuerzas y momentos que intervienen en el sistema de vuelco.
2. Se realizó el análisis de los resultados obtenidos por medio del estudio de elementos finitos llevado a cabo por el laboratorio INSIA, según las condiciones de material, configuración de la estructura de la carrocería y distribución de la misma, la estructura es homologada por medio de análisis de software.
3. Se seleccionó la sección de la carrocería en función de la importancia sobre la carrocería total y de la concentración de pasajeros en dicha zona. Se realizó la construcción tanto de la base de soporte de la sección de la carrocería como de la sección de la misma, se preparó el lugar para la realización del experimento en concordancia con lo requerido en el Reglamento 66.
4. Se lleva a cabo la prueba de vuelco de forma experimental concluyendo que la superestructura de la carrocería Busstar 360 de la compañía Busscar de Colombia cumple con las exigencias de dicho reglamento y es segura ante un eventual vuelco.
5. La configuración estructural con anillos interrumpidos es resistente y su desarrollo conceptual es ideal para acercarse al cumplimiento del reglamento 66.
6. Para este experimento el análisis teórico arroja resultados iguales a los de la prueba experimental desde lo cualitativo, es decir, la prueba es aprobada y no hay invasión

de estructura en zona de vida, basados en este único ensayo, se podría decir que es igualmente viable la ejecución experimental y el análisis teórico

5.2 APORTES

1. Como aporte en la investigación es la fabricación de la plataforma de vuelco que quedara como un elemento de la compañía y que servirá para la realización de futuras pruebas de vuelco con el fin de homologar otra carrocería
2. El protocolo para la realización de la prueba en la compañía que hará parte del Know How de la misma y que también servirá de guía para futuras pruebas
3. La homologación en el reglamento para la carrocería 360 de la compañía y que servirá para cumplir con requisitos internacionales

5.3 RECOMENDACIONES

1. Debido a la congruencia entre los resultados obtenidos de manera teórica o analítica por medio del software Ansys y el resultado experimental descrito en esta investigación, se recomienda a la compañía Busscar de Colombia S.A.S, seguir realizando vuelcos experimentales con el fin de aspirar a la certificación bajo el reglamento 66 de las carrocerías que correspondan en próximas negociaciones, esto debido a que la confiabilidad del experimento es alta y que el costo de la misma es menor, dado que por ejemplo el accionamiento a través de montacargas no tiene costo por que hace parte de los activos de la empresa y la plataforma de soporte ya se fabricó y puede ajustarse a cualquier modelo.

En ese caso para una nueva prueba solo es necesario la fabricación de la sección transversal y el alquiler de equipos para el levantamiento de la evidencia, costo que puede oscilar entre \$ 500.000 y \$ 1' 000.000.

2. Se recomienda a la compañía incluir o crear un área dentro del departamento de Ingeniería que se dedique al análisis de las estructuras, a la optimización de ellas y a buscar un equilibrio entre la resistencia y el peso que permita no solamente homologarse en el R66, sino también tener como ventaja competitiva una masa relativamente baja de las carrocerías.
3. Se recomienda sensibilizar a los participantes del área de Ingeniería de esta investigación, la misma les servirá para la definición de estructuras, para conocer la importancia de la distribución de las cerchas y entender como actúa la carrocería en presencia de impactos laterales
4. Se recomienda socializar con la alta gerencia para que se entienda el aporte al conocimiento y avance ingenieril de la compañía

6. BIBLIOGRAFIA

[1]. NTC 5206. Vehículos para el transporte terrestre público colectivo y especial de pasajeros. Requisitos y métodos de ensayo. Primera actualización. Colombia. 2009, pp 4.

[2].INEN 2205. Vehículos Automotores Bus Urbano Requisitos. 1ra Edición. Ecuador 2010, pp. 1-5.

[3]. INEN 1323. Vehículos Automotores Carrocerías de Buses Requisitos. 1ra Edición Ecuador 2010, pp. 1-5.

[4].DIRECTIVA 2001/85/CE. Relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor. 1ra Edición. Ecuador 2010 pp. 1-5.

[5] MEZQUITA, Tratado sobre Automóviles. 3ra.ed. España, Universidad Politécnica de Valencia, 2007, pp 583-586.

[6] BARION RICARDO, Directrices Carrozado Volksbus. 1ra Edición. Brasil.2002, pp. 15-83.

[7]. DIRECTIVA 2001/85/CE. Relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor. Requisitos y métodos de ensayo. Primera actualización.

[8]. R66. Relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor. Requisitos y métodos de ensayo. Primera actualización 2010.

© EuroJournals Publishing, Inc. 2012.

[9]. <https://www.google.com.co/> Imágenes, Criterio de búsqueda “Imágenes carrocerías Pereira”

[10]. Informe técnico según reglamento 66 en su revisión 00 de Insia-UPM para Busscar
Diciembre 2014

[11] MANUAL DE MANEJO SOLID WORKS, SOLID SIMULATION 2012, Dessault
systemes Solid Woks Corporation

[12] REGLAMENTO N° 107 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EUROPA (CEPE-ONU), sobre disposiciones uniformes relativas a la
homologación de vehículos de la categoría M2 o M3 en lo que respecta a sus características
generales de construcción, 2006.

[13] ANDRADE G EDUARDO, estudio del diseño de una carrocería con análisis de
esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca patricio cepeda calificada con
norma iso 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas,
Escuela Politécnica del ejército, extensión – Latacunga, Departamento de energía y
mecánica, España 2012.

[14] ANA L OLONA, seguridad secundaria en autobuses y autocares, Zaragoza Marzo
2011.

[15] KADIR ELITOK, Regulatory Bus Roll-Over Crash Analysis Using LS-DYNA,
Departamento desarrollo de producto TEMSA Turkia 2014.